9月 September
2020, 63(9): 1153 - 1158

昆 虫 学 报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

http://www.insect.org.cn
doi: 10.16380/j.kcxb.2020.09.013

取食不同寄主植物的桃小食心虫飞行能力

龚　强[1,2], 宫亚军[2], 曹利军[2], 郑小钰[2], 蒲德强[3], 黄　琼[1,*], 魏书军[2,*]

(1. 四川农业大学林学院, 成都 611130; 2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097;
3. 四川省农业科学院植物保护研究所, 成都 610066)

摘要:【目的】评测取食不同寄主植物的桃小食心虫 *Carposina sasakii* 飞行能力,为该虫预测预报和防控提供参考。【方法】使用飞行磨装置测定了取食不同寄主植物(海棠、苹果和杏)的桃小食心虫雌雄成虫的飞行能力,比较了取食同一寄主植物的雌雄成虫间和取食不同寄主植物的同一性别个体间平均飞行距离、平均飞行时间、平均飞行速度和最大飞行速度4个飞行参数。【结果】在12 h的飞行测试中,桃小食心虫成虫最长飞行距离为24.54 km,最长飞行时间接近12 h,最大飞行速度为5.88 km/h,飞行11~12 h的个体占比最高(36.98%)。取食同一寄主的雌成虫各飞行参数值均大于雄成虫。取食苹果和海棠的成虫的平均飞行距离在雌雄间存在显著差异,取食苹果的雌成虫的平均飞行距离显著大于取食杏的个体,取食苹果的雌成虫平均飞行速度和最大飞行速度显著大于取食另外两种寄主的个体;但是取食不同寄主植物的雄成虫间各飞行参数值差异不显著。【结论】桃小食心虫成虫飞行能力较强,取食同一寄主植物的雌雄成虫间以及取食不同寄主植物的雌成虫间飞行能力存在差异。

关键词: 桃小食心虫; 飞行能力; 寄主植物; 性别; 飞行磨; 苹果; 海棠; 杏

中图分类号: Q968　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0454-6296(2020)09-1153-06

Flight ability of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae), fed on different host plants

GONG Qiang[1,2], GONG Ya-Jun[2], CAO Li-Jun[2], ZHENG Xiao-Yu[2], PU De-Qiang[3], HUANG Qiong[1,*], WEI Shu-Jun[2,*] (1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract:【Aim】To evaluate the flight ability of the peach fruit moth, *Carposina sasakii*, fed on different host plants, so as to provide basic data for its forecast and management.【Methods】The flight ability of female and male adults of *C. sasakii* fed on different host plants (crabapple, apple and apricot) was measured by using a flight mill device, and the average flight distance, average flight duration, average flight speed and maximum flight speed were compared between female and male adults fed on the same host plant and among individuals of the same sex fed on different host plants.【Results】The longest flight distance, the longest flight duration and the maximum flight speed of *C. sasakii* adults within 12-h flight testing were 24.54 km, ~12 h and 5.88 km/h, respectively. The highest proportion of individuals (36.98%) had a flight duration ranging between 11 and 12 h. The values of various flight parameters were higher in female adults than in male adults fed on the same host plant. There was significant

基金项目: 国家自然科学基金项目(31901884); 北京市自然科学基金项目(6184037); 北方果树病虫害绿色防控北京市重点实验室资助项目(BZ0432)

作者简介: 龚强, 男, 1995年1月生, 四川盐亭人, 硕士研究生, 研究方向为害虫综合治理, E-mail: 825791826@qq.com

* 通讯作者 Corresponding authors, E-mail: shujun268@163.com; 1610864820@qq.com

收稿日期 Received: 2020-01-19; 接受日期 Accepted: 2020-03-06

difference in the average flight distance between female and male adults fed on apple and crabapple, and the average flight distance of female adults fed on apple was significuntly longer than that fed on apricot. The average flight speed and the maximum flight speed of female adults fed on apple were significantly higher than those fed on the other two hosts. However, the values of various flight parameters of male adults fed on different host plants showed no significant difference. 【Conclusion】*C. sasakii* adults have a relatively strong flight ability, and exhibit different flight abilities between female and males fed on the same host plant and among female individuals fed on different host plants.

Key words: *Carposina sasakii*; flight ability; host plant; sex; flight mill; apple; crabapple; apricot

桃小食心虫 *Carposina sasakii* 属鳞翅目(Lepidoptera)蛀果蛾科(Carposinidae),又名桃蛀果蛾,广泛分布于我国及周边国家,是果树上重要蛀果类害虫,主要通过幼虫钻蛀果实造成危害。该虫可危害多种寄主植物,包括蔷薇科的苹果 *Malus pumila*、海棠 *Malus spectabilis*、梨 *Pyrus* spp.、杏 *Prunus armeniaca*、李 *Prunus salicina*、木瓜 *Chaenomeles sinensis* 等,以及鼠李科的枣 *Ziziphus jujuba* 和酸枣 *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* 等(刘玉升等, 1997; 李定旭等, 2012; 孙丽娜等, 2018)。桃小食心虫具有滞育的特性(Zhang *et al*., 2016a, 2016b),在李上一年发生 1 ~ 2 代,果实成熟时老熟幼虫部分形成滞育茧越夏越冬,部分羽化为成虫(叶桂孝, 2005),羽化成虫可能迁移到新的寄主上产卵。使用微卫星标记和线粒体基因对北京地区不同寄主上桃小食心虫种群研究,发现不同寄主种群间无明显遗传分化,不同种群间的遗传分化水平也与地理距离没有关系(Wang *et al*., 2017)。这些研究结果表明,不同寄主上的桃小食心虫可能存在寄主间转移危害的现象,而桃小食心虫在寄主间转移扩散危害则须具备一定的飞行能力。

研究昆虫飞行能力常用的方法有野外标记重捕法(Rose *et al*., 1985; Cameron *et al*., 2009),但这需要一定的虫量并且费时费力易受环境影响;也可以用飞行模拟装置在室内测试飞行能力,这种方法简单易于操作,能了解更多飞行参数,如飞行时间和飞行速度等,且可与其他因素进行关联分析(Minter *et al*., 2018),许多昆虫飞行能力的研究都选择了这种方法(Briegel *et al*., 2001; Avalos *et al*., 2014; 刘莎等, 2018)。Ishiguri 和 Shirai (2004)利用飞行磨装置比较了温度、日龄和交配对桃小食心虫飞行能力的影响,发现不同日龄雌虫或雄虫的飞行时间不存在差异,且交配不影响雌虫的飞行能力,仅 2 日龄雌虫飞行速度稍强于 1 日龄雌虫。但昆虫的飞行能力强弱还受到食物等因素影响(Shirai, 1993; Begum *et al*., 1997),如粘虫 *Pseudaletia unipuncta*(Luo *et al*., 2002)等。

桃小食心虫的多种寄主植物物候期不同,已有研究发现不同寄主饲养的桃小食心虫在发育历期和产卵量上均存在差异(Lei *et al*., 2012)。然而,目前尚未见取食不同寄主植物后桃小食心虫飞行能力的研究报道。因此,明确不同寄主植物上完成发育的桃小食心虫的飞行能力,不仅能丰富桃小食心虫飞行能力研究进展,也对明确该虫是否存在转移扩散危害的习性具有重要意义。本研究利用飞行磨装置对杏、苹果和海棠 3 种寄主植物上完成发育的桃小食心虫雌雄成虫的飞行能力进行了评测,旨在了解该虫的飞行能力与寄主植物的关系,从而为该虫扩散范围和危害规律研究提供基础,为防控策略的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2019 年 7 – 8 月在北京市延庆区大丰营村一果园内采集桃小食心虫危害的杏、苹果和海棠,带回室内放入 25 ± 1℃、相对湿度 50% ± 5%、光周期 15L: 9D 的培养箱中饲养;待幼虫自然脱果后,用镊子或毛笔转入湿润木屑中,使其结茧化蛹;羽化后用指形管收集成虫,每管 1 头。根据 Ishiguri 和 Shirai (2004)研究结果,选用羽化后 24 – 48 h 的 2 日龄成虫用于吊飞试验。

1.2 飞行磨装置

飞行能力测定装置主要由昆虫飞行磨(图 1)和昆虫飞行磨信息采集统计系统构成。飞行磨吊臂长 20 cm,能够获得飞行圈数、飞行时间、飞行距离、飞行速度等飞行参数,采样圈数误差小于 1 圈。参照 Steven Naranjo 的设计制作飞行磨(Naranjo and Smith, 2018),通过磁悬浮和聚四氟乙烯轴承降低飞行磨的摩擦力,使机械阻力最小化(图 1)。

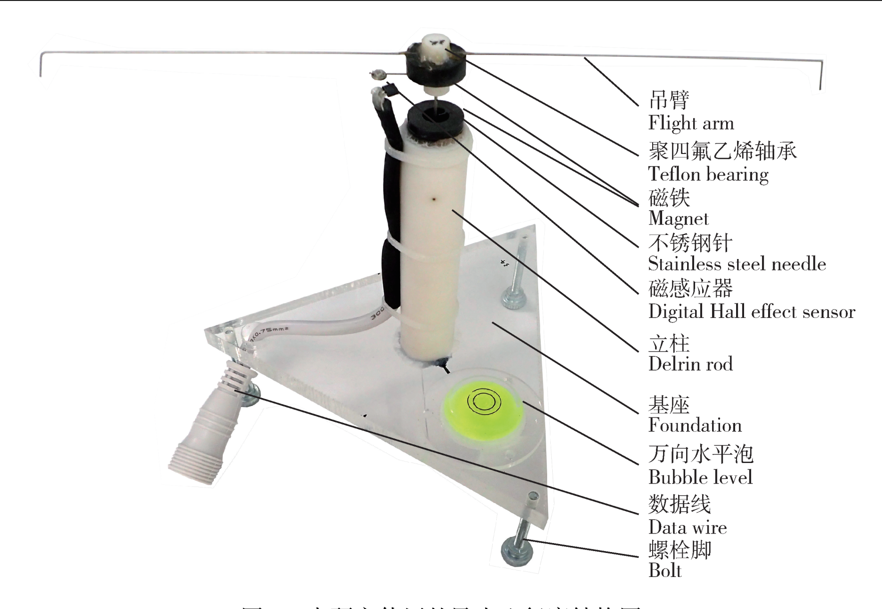


图 1　本研究使用的昆虫飞行磨结构图

Fig. 1　Structure of insect flight mill used in the study

1.3　飞行能力测试

用二氧化碳轻度麻醉被试个体，用细毛笔扫去前胸背板鳞片，然后迅速用昆虫针的针球蘸取少量热熔胶并与前胸背板垂直粘合。测试时将粘有被测昆虫的昆虫针的针尖插入吊臂，使吊飞行方向与吊臂垂直。在温度 25 ± 1℃，相对湿度 50% ± 5% 的黑暗条件下进行吊飞实验，飞行测试时间为 12 h。

1.4　数据分析

在 Microsoft Excel 2010 中记录数据，按照寄主和性别进行分类整理，制作各飞行参数频次分布图。在 R 语言包 stats 中使用非参数的 Wilcoxon 秩和对两组数据进行差异显著性检验比较。

2　结果

2.1 桃小食心虫成虫基本飞行参数

本研究对 200 头桃小食心虫成虫进行 12 h 飞行能力测试，所有个体均检测到飞行行为，其中死亡 13 头，逃逸 22 头，共获得 165 头成虫完整的飞行数据；在取食不同寄主和雌雄分组中，每组成功测试个体数均≥20 头（图 2：A）。在 12 h 的飞行能力测试的个体中飞行距离最长的为 24.54 km，平均飞行距离为 12.06 km，飞行距离为 15 ~ 16 km 的个体最多，为 12 头，占 7.27%（图 2：B）；飞行时间最长接

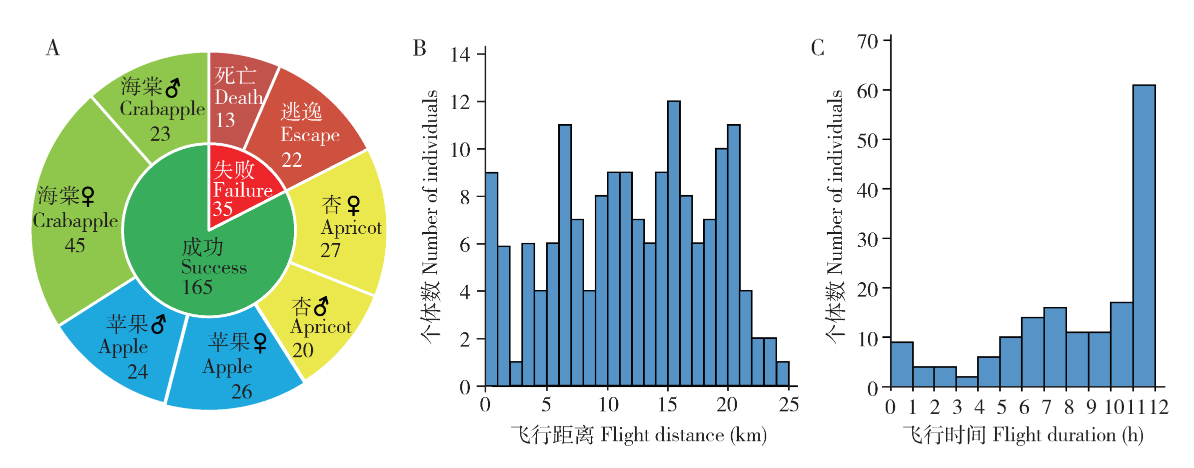


图 2　取食不同寄主植物桃小食心虫成虫飞行能力测定样本数与基本飞行参数

Fig. 2　Numbers of samples used in flight ability test and the basic flight parameters of *Carposina sasakii* adults fed on different host plants

A：桃小食心虫试验样本数 Number of the peach fruit moths used in each experiment；B：桃小食心虫飞行距离频次分布图 Histogram of flight distance of *C. sasakii*；C：桃小食心虫飞行时间频次分布图 Histogram of flight duration of *C. sasakii*.

近 12 h，飞行 11 ~ 12 h 的个体最多，为 61 头，占 36.98%（图 2：C）；飞行速度最快为 5.88 km/h。

2.2 桃小食心虫雌雄成虫的飞行能力

2.2.1 取食相同寄主植物的雌雄成虫间飞行能力比较：同一寄主上桃小食心虫雌成虫平均飞行距离、平均飞行时间、平均飞行速度和最大飞行速度均大于雄虫（表 1）。在平均飞行时间上，寄主为苹果或海棠的雌雄成虫间差异显著（苹果：$P=0.013$；海棠：$P=0.034$），杏上的雌雄间平均飞行距离差异不显著（$P=0.353$）。在平均飞行时间上，海棠上的雌雄桃小食心虫间差异显著（$P=0.003$），而分别取食苹果和杏的雌雄虫间差异不显著（$P>0.05$）；在平均飞行速度上，取食苹果的雌雄虫间存在显著差异（$P=0.009$），而取食其他两个寄主的雌雄间差异不显著（$P>0.05$）；在最大飞行速度上，取食海棠或苹果的雌雄成虫之间均差异显著（海棠：$P=0.025$；苹果：$P=0.021$），而取食杏的雌雄间差异不显著（$P>0.05$）。由此可见，除了来自杏上的桃小食心虫成虫的各飞行参数值在雌雄之间均不存在显著差异外，采集自海棠和苹果上的雌雄成虫个体间在平均飞行距离、平均飞行时间、平均飞行速度和最大飞行速度上存在显著性差异。

表 1 取食不同寄主植物的桃小食心虫雌雄成虫的飞行能力

Table 1 Flight capabilities of female and male adults of *Carposina sasakii* fed on different host plants

寄主 Host	性别 Sex	平均飞行距离（km） Average flight distance	平均飞行时间（h） Average flight duration	平均飞行速度（km/h） Average flight speed	最大飞行速度（km/h） Maximum flight speed
海棠 Crabapple	雌 Female	13.11 ± 0.91 aA	9.37 ± 0.47 aA	1.34 ± 0.05 aB	2.80 ± 0.07 aB
	雄 Male	9.07 ± 1.22 bA	6.94 ± 0.72 bA	1.20 ± 0.08 aA	2.50 ± 0.14 bA
苹果 Apple	雌 Female	15.06 ± 1.17 aA	9.59 ± 0.54 aA	1.51 ± 0.07 aA	3.24 ± 0.16 aA
	雄 Male	11.69 ± 1.26 bA	8.64 ± 0.70 aA	1.27 ± 0.07 bA	2.81 ± 0.11 bA
杏 Apricot	雌 Female	11.77 ± 1.33 aB	8.22 ± 0.71 aA	1.30 ± 0.08 aB	2.75 ± 0.14 aB
	雄 Male	10.03 ± 1.31 aA	7.63 ± 0.80 aA	1.24 ± 0.07 aA	2.85 ± 0.14 aA

表中数据为平均值 ± 标准误；同一列数值后不同大写字母表示不同寄主植物上完成发育的同一性别的成虫相同飞行参数差异显著（$P<0.05$，Duncan 氏检验）；不同小写字母表示同一寄主植物上完成发育的雌雄成虫相同飞行参数差异显著（$P<0.05$，t 检验）。Data in the table are presented as mean ± *SE*. Different capital letters following the data in a column indicate significant difference in the same flight parameter for adults of the same sex fed on different host plants ($P<0.05$, Duncan's test), while different small letters indicate significant difference in the same flight parameter between female and male adults fed on the same host plant ($P<0.05$, t-test).

2.2.2 取食不同寄主植物的同一性别成虫的飞行能力比较：比较不同寄主上相同性别的桃小食心虫成虫飞行参数发现（表 1），取食苹果的雌成虫飞行能力明显强于取食杏和海棠的个体。对于雌成虫，取食苹果的个体的平均飞行距离最长，其次为取食海棠的个体，取食杏的最短，苹果和杏上的雌虫间差异显著（$P=0.045$）。在平均飞行时间上，取食 3 种寄主的雌虫之间不存在显著差异（$P=0.287$ ~ 0.938）。在平均飞行速度和最大飞行速度上，取食苹果的雌成虫均显著高于取食另外两种寄主的雌虫（$P=0.020$ ~ 0.047）。对于雄成虫，取食苹果的同样较取食另外两种寄主的个体具有较强的飞行能力，平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速度均最大，但最大飞行速度以取食杏的个体为最大，为 2.85 ± 0.14 km/h。取食 3 种寄主的雄成虫 4 个飞行参数值均无显著性差异（$P=0.056$ ~ 0.694）。

3 讨论

Ishiguri 和 Shirai（2004）发现桃小食心虫在 29℃ 下 90% 以上的个体均发生飞行行为，表明该虫非常活跃，同样，本研究发现除死亡和逃逸个体外，所有被测个体均发生了飞行行为。本研究发现桃小食心虫在 12 h 的飞行测试中最大飞行距离为 24.54 km，约 37% 的个体累计飞行时间超过 11 h（图 1），而小菜蛾 *Plutella xylostella* 12 h 内最大飞行距离为 13.191 km（魏书军等，2013），茶翅蝽 *Halyomorpha halys* 在 20 h 吊飞实验中 72.73% 的个体飞行距离在 100 ~ 1 000 m，可见桃小食心虫的飞行能力明显强于小菜蛾、茶翅蝽，具有较强的飞行能力。目前的研究结果表明，桃小食心虫的飞行距离能够满足在一定范围内不同果园之间扩散危害，这与不同寄主植物上桃小食心虫种群间遗传分化不明显的结果（Wang *et al.*, 2017）相一致。但是，我国不同地理种群的桃小食心虫存在明显的地理种群遗传分化，表明该虫在远距离种群间具有较强的地理隔离（Wang *et al.*, 2017），因此，虽然该虫具有相对较强的飞行能力，但是发生长距离迁飞的可能性较小。关于该虫在田间的传播扩散规律还需要进一步研究。

在本研究发现取食同种寄主植物桃小食心虫雌成虫飞行能力强于雄成虫（表1）。日本学者在对桃小食心虫飞行能力的研究中也发现雌虫飞行能力高于雄虫，虽然飞行能力不存在显著差异（Ishiguri and Shirai, 2004）。雌雄个体之间飞行能力的差异在昆虫中有报道，如绿盲蝽、枣实蝇 *Carpomya vesuviana*、棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella*、美国牧草盲蝽 *Lygus lineolaris* 和二点委夜蛾 *Proxenus lepigone* 等（Stewart and Gaylor, 1991; Wu *et al*., 2006; Lu *et al*., 2007; 丁吉同等, 2014; 郑作涛等, 2014）。

不论是雌性或是雄性桃小食心虫成虫，取食苹果的个体飞行能力都高于取食海棠和杏的个体（表1）。这可能是因为寄主之间的营养不同导致个体间的差异。对于不同寄主植物对昆虫飞行能力的影响已经在相关研究中得到证明，在对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 的研究中发现，幼虫期取食不同的食物，其成虫间飞行能力也存在显著差异（涂业苟等, 2008）。虽然本研究没有测定不同寄主植物上完成发育的桃小食心虫体重差异，Lei 等（2012）和李定旭等（2012）的研究发现取食苹果的桃小食心虫体重显著大于取食杏的个体。在对小菜蛾的研究中发现体型大的小菜蛾飞行能力强于体型小的小菜蛾（Shirai, 1995）。然而，造成不同个体飞行能力差异的原因尚有待于进一步研究。

本研究表明，桃小食心虫具有相对较强的飞行能力，取食不同寄主植物的雌成虫间以及取食同一寄主植物的雌雄成虫间的飞行能力存在一定差异，为该虫在不同果园间扩散危害提供了可能。研究结果为桃小食心虫的扩散能力研究提供科学依据，为该虫的预测预报和防控提供参考。

参考文献（References）

Avalos JA, Marti-Campoy A, Soto A, 2014. Study of the flying ability of *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) adults using a computer-monitored flight mill. *Bull. Entomol. Res.*, 104(4): 462–470.

Begum S, Tsukuda R, Fujisaki K, Nakasuji F, 1997. Effects of host plants on flight muscle size and flight activity in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 32(4): 651–654.

Briegel H, Knusel I, Timmermann SE, 2001. *Aedes aegypti*: size, reserves, survival, and flight potential. *J. Vector Ecol.*, 26(1): 21–31.

Cameron PJ, Wigley PJ, Elliott S, Madhusudhan VV, Wallace AR, Anderson JAD, Walker GP, 2009. Dispersal of potato tuber moth estimated using field application of Bt for mark-capture techniques. *Entomol. Exp. Appl.*, 132(2): 99–109.

Ding JT, Adil S, Zhu HF, Yu F, Alimasi, Luo L, 2014. Flight capacity of adults of the ber fruit fly, *Carpomya vesuviana* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomol. Sin.*, 57(11): 1315–1320. [丁吉同, 阿地力·沙塔尔, 主海峰, 喻峰, 阿里玛斯, 罗浪, 2014. 枣实蝇成虫飞行能力的测定. 昆虫学报, 57(11): 1315–1320]

Ishiguri Y, Shirai Y, 2004. Flight activity of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae), measured by a flight mill. *Appl. Entomol. Zool.*, 39(1): 127–131.

Lei XH, Li DX, Li Z, Zalom FG, Gao LW, Shen ZR, 2012. Effect of host plants on developmental time and life table parameters of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) under laboratory conditions. *Environ. Entomol.*, 41(2): 349–354.

Li DX, Lei XH, Li Z, Gao LW, Shen ZR, 2012. Effects of different host plants on the development and reproduction of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae). *Acta Entomol. Sin.*, 55(5): 554–560. [李定旭, 雷喜红, 李政, 高灵旺, 沈佐锐, 2012. 不同寄主植物对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 55(5): 554–560]

Liu S, Lv ZY, Gao HH, Zhai YF, Liu Q, Yang PY, Li P, Zheng L, Li Q, Yu Y, 2018. Research advances on flight capacity of insect. *J. Environ. Entomol.*, 40(5): 995–1002. [刘莎, 吕召云, 高欢欢, 翟一凡, 刘倩, 杨普云, 李萍, 郑礼, 李强, 于毅, 2018. 昆虫飞行能力研究进展. 环境昆虫学报, 40(5): 995–1002]

Liu YS, Cheng JA, Mu JY, 1997. Review of the advances of the peach fruit borer (*Carposina sasakii* Matsmura). *J. Shandong Agric. Univ.*, 28(2): 207–214. [刘玉升, 程家安, 牟吉元, 1997. 桃小食心虫的研究概况. 山东农业大学学报, 28(2): 207–214]

Lu YH, Wu KM, Guo YY, 2007. Flight potential of *Lygus lucorum* (Meyer-Dür) (Heteroptera: Miridae). *Environ. Entomol.*, 36(5): 1007–1013.

Luo LZ, Johnson SJ, Hammond AM, Lopez JD, Geaghan JP, Beerwinkle KR, Westbrook JK, 2002. Determination and consideration of flight potential in a laboratory population of true armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 31(1): 1–9.

Minter M, Pearson A, Lim KS, Wilson K, Chapman JW, Jones CM, 2018. The tethered flight technique as a tool for studying life-history strategies associated with migration in insects. *Ecol. Entomol.*, 43(4): 397–411.

Naranjo S, Smith T, 2018. Flight mill studies. http://tfrec.cahnrs.wsu.edu/vpjones/flight-mill-studies/.

Rose D, Page W, Dewhurst C, Riley J, Reynolds D, Pedgley D, Tucker M, 1985. Downwind migration of the African army worm moth, *Spodoptera exempta*, studied by mark-and-capture and by radar. *Ecol. Entomol.*, 10(3): 299–313.

Shirai Y, 1993. Comparison of longevity and flight ability in wild and laboratory-reared male adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 28(4): 587–590.

Shirai Y, 1995. Longevity, flight ability and reproductive performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera:

Yponomeutidae), related to adult body size. *Res. Popul. Ecol.*, 37 (2): 269 – 277.

Stewart SD, Gaylor MJ, 1991. Age, sex, and reproductive status of the tarnished plant bug (Heteroptera: Miridae) colonizing mustard. *Environ. Entomol.*, 23(1): 80 – 84.

Sun LN, Zhang HJ, Yan WT, Yue Q, Li YY, Qiu GS, 2018. Research of the peach fruit moth. *China Fruits*, (1): 76 – 81. [孙丽娜, 张怀江, 闫文涛, 岳强, 李艳艳, 仇贵生, 2018. 桃小食心虫研究进展. 中国果树, (1): 76 – 81]

Tu YG, Wu KM, Xue FS, Guo YY, 2008. Influence of host plants on larval development, adult fecundity and flight ability of the common cutworm, *Spodoptera litura*. *Cotton Sci.*, 20(2): 105 – 109. [涂业苟, 吴孔明, 薛芳森, 郭予元, 2008. 不同寄主植物对斜纹夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 棉花学报, 20(2): 105 – 109]

Wang YZ, Li BY, Hoffmann AA, Cao LJ, Gong YJ, Song W, Zhu JY, Wei SJ, 2017. Patterns of genetic variation among geographic and host-plant associated populations of the peach fruit moth *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *BMC Evol. Biol.*, 17(1): 265.

Wei SJ, Fan X, Gu Y, Wang ZH, Gong YJ, Jin GH, Shi BC, 2013. Preliminary study of the effect of age and mating on the flight ability of the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 50(2): 474 – 482. [魏书军, 范潇, 顾耘, 王泽华, 宫亚军, 金桂华, 石宝才, 2013. 不同日龄及交配前后小菜蛾飞行能力. 应用昆虫学报, 50(2): 474 – 482]

Wu HH, Wu KM, Wang DY, Guo YY, 2006. Flight potential of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environ. Entomol.*, 35(4): 887 – 893.

Ye GX, 2005. Occurrence and control techniques of the peach fruit moth on plum in Yongtai area. *South China Fruits*, 34(3): 62 – 63. [叶桂孝, 2005. 永泰李树桃小食心虫的发生与防治技术. 中国南方果树, 34(3): 62 – 63]

Zhang B, Peng Y, Zhao XJ, Hoffmann AA, Li R, Ma CS, 2016a. Emergence of the overwintering generation of peach fruit moth (*Carposina sasakii*) depends on diapause and spring soil temperatures. *J. Insect Physiol.*, 86: 32 – 39.

Zhang B, Zhao F, Hoffmann A, Ma G, Ding HM, Ma CS, 2016b. Warming accelerates carbohydrate consumption in the diapausing overwintering peach fruit moth *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Environ. Entomol.*, 45(5): 1287 – 1293.

Zheng ZT, Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2014. Flight ability of *Athetis lepigone*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 51(3): 643 – 653. [郑作涛, 江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2014. 二点委夜蛾飞行行为特征. 应用昆虫学报, 51(3): 643 – 653]

(责任编辑: 赵利辉)